



Aurinkoenergia omakotitalossa

Oke Vihavainen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Tekniikan ja liikenteen ala
Insinööri (AMK), Energiatekniikan koulutusohjelma

Jyväskylän ammattikorkeakoulu
JAMK University of Applied Sciences

Tekijä(t) Vihavainen, Oke	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Huhtikuu 2016
	Sivumäärä 41	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Aurinkoenergia omakotitalossa		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma		
Työn ohjaaja(t) Nuutinen, Marjukka Hytönen, Vesa		
Toimeksiantaja(t) Tmi. Timo Paasonen		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin Tmi. Timo Paasoselle. Tutkimus kohteena oli omakotitalo ja sen piha- piirissä olevat rakennukset ja kesämökki. Työn tarkoituksena oli tehdä teknis-taloudellinen mitoitus aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotannosta omakotitaloympäristöön. Opinnäy- tetyössä laskettiin teoreettisesti mahdollinen tuotanto ja sen kannattavuus.</p> <p>Opinnäytetyön aineisto koottiin pääasiassa kirjallisuudesta ja rakennusmääräyksistä. Työssä esitellään aurinkoenergian tuottamiseen ja varastointiin käytettäviä laitteita, sekä mahdollisuuksia hyödyntää aurinkoa passiivisesti ja aktiivisesti. Työssä esitetään aurin- koenergian mitoituslaskentaan tarvittavat kaavat ja lähtöarvot. Kaavat ja laskentamallit pe- rustuvat rakennusmääräyskokoelman D5 taulukoihin ja sen liitteenä olevaan Aurinkoläm- mön- ja sähkön energiantuotannon oppaaseen.</p> <p>Tutkimukseni perusteella aurinkoenergiajärjestelmiin investointi on kannattavaa omakoti- taloissa, joissa sähkönkulutus on kesäaikana suurta. Järjestelmän mitoitus kulutukseen nähdén tulee olla noin 50 % aurinkosähkölajitelmissä, jotta järjestelmien tuottama ener- gia saadaan käytettyä mahdollisimman kannattavasti. Aurinkolämpöjärjestelmät voidaan mitoittaa vastaamaan suoraan pienimmän kulutuskuukauden lämmönkulutusta. Tuloksia voidaan soveltaa myös sähkölämmitteisiin taloihin. Laskelmieni perusteella aurinkoläm- pöjärjestelmä maksaa itsensä takaisin noin 14 vuodessa ja aurinkosähkölajitelmä noin 15 vuodessa. Järjestelmien kannattavuus tulee paranemaan sähkönhinnan noustessa ja järjes- telmien tehokkuuden kehittyessä ja hinnan laskiessa.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Aurinkoenergia, aurinkosähkö, aurinkolämpö		
Muut tiedot		

Author(s) Vihavainen, Oke	Type of publication Bachelor's thesis	Date April 2016
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 41	Permission for web publication: x
Title of publication Solar energy in a detached house		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Nuutinen, Marjukka Hytönen, Vesa		
Assigned by Sole trader. Timo Paasonen		
<p>Abstract</p> <p>This study was made for Tmi. Timo Paasonen. The target of the study was a detached house and the buildings and summer cottage in its courtyard. The aim of the study was to make technical and -economical dimensioning of the production of solar electricity and solar heating for a detached house. The possible production and its profitability was calculated theoretically in this study.</p> <p>The data of the study was mainly collected from literature and building regulations. The Equipment that is used for the production and storage of solar energy and also the ways to benefit from the sun both passively and actively are presented in this study. The formulas and specifications that are needed for the dimensioning calculation of solar energy are also presented. The formulas and calculation models are based on D5 tables in the collection of building regulations and also on the guide "Energy production of solar heating and solar electricity".</p> <p>According to the results of the study, investing in solar energy systems is profitable in the detached houses where electricity consumption is high during the summer. When dimensioning solar energy systems the relation to the consumption should be about 50 per cent so that the energy produced by the systems could be used as profitably as possible. Solar thermal systems can be calculated to directly meet the heat consumption of the month with the smallest consumption. The results can also be applied to the houses that have electrical heating. According to the calculations, a solar thermal system will pay itself back in around 14 years and solar electric system in around 15 years. The profitability of these systems will improve when the price of the electricity increases and also when the systems become more effective and their price decreases.</p>		
Keywords/tags (subjects)		
Solar power, Solar electricity, Solar heating		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Aurinkoenergia	5
2.1	Aurinkoenergia yleisesti	5
2.2	Aurinkoenergia Suomessa	6
3	Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen	9
4	Aktiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen	12
4.1	Aurinkopaneelit	12
4.2	Aurinkokeräimet	14
4.2.1	Tyhjiöputkikeräimet	15
4.2.2	Tasokeräimet	16
4.3	Hybridikeräimet	17
5	Energian varastointi	18
5.1	Aurinkolämmön varastointi	18
5.2	Aurinkosähkön varastointi	20
6	Kohderakennuksen energiantarve	21
6.1	Energian kulutus	21
6.2	Käyttövesi	22
6.3	Rakennuksen lämmitys	23
6.4	Lämmitykseen kuluva sähkö	24
7	Järjestelmän mitoitus	25
7.1	Lämpökeräinratkaisu	26
7.2	Aurinkopaneeliratkaisu	31
8	Tulosten tarkastelu	36
9	Pohdintaa	37
	Lähteet	38
	Liitteet	40
	Liite 1	40

Liite 2.....	41
--------------	----

Kuviot

Kuvio 1. Auringon säteilykulma kuukausittain Varkaudessa	8
Kuvio 2. Auringon kokonaissäteily kuukausittain Suomessa	9
Kuvio 3. Kuusi tapaa sijoittaa rakennus energiataloudellisesti.....	10
Kuvio 4. Aurinkopaneelin toimintaperiaate	13
Kuvio 5. Yksikiteinen kenno.....	14
Kuvio 6. Monikiteinen kenno	14
Kuvio 7. Tyhjiökeräin	15
Kuvio 8 Heat-pipe-lämpöputki	16
Kuvio 9 Lämpötilan vaikutus sähköntuotantoon	17
Kuvio 10. Akkujen kytkentä	20
Kuvio 11. Kohderakennuksen kuukausittainen sähkönkulutus	22
Kuvio 12. Energiakulutuksen erottelu kohderakennuksessa	25
Kuvio 13. Hybridivaraajan kytkentä	30
Kuvio 14. Kohderakennuksen sähkönkulutus viikolla 28	32
Kuvio 15. Sähkönkulutuksen ja laskennallisen tuotannon jakautuminen kohderakennuksessa	34
Kuvio 16. Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika.....	36

Taulukot

Taulukko 1. Kuukausittaiset auringonpaistetunnit eripuolilla suomea	7
Taulukko 2. Aineiden lämpökapasiteetteja.....	12
Taulukko 3. Kohderakennuksen kesäajan lämmönkulutus.....	23
Taulukko 4. Rakennuksen lämmitysenergian tarve	24
Taulukko 5. Laskennallinen lämmitysenergian tarve kohderakennuksessa	24
Taulukko 6. Kesäajan sähkönkulutus kohderakennuksessa.....	25
Taulukko 7. Auringon kallistuskulman vaikutus aurinkokeräimen tuotantoon.....	26

Taulukko 8. Suuntauksen vaikutus aurinkokeräimen tuotantoon.....	27
Taulukko 9. Aurinkokeräimen tuotanto	27
Taulukko 10. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotanto kuukausittain	28
Taulukko 11. Suunnitellun aurinkolämpöjärjestelmän laskennallinen tuotto.....	29
Taulukko 12. Aurinkolämpöjärjestelmän kustannukset	30
Taulukko 13. Mitoitetun aurinkosähköjärjestelmän laskennallinen tuotanto	33
Taulukko 14. Mitoitetun aurinkosähköjärjestelmän laskennallinen tuotto	34
Taulukko 15. Aurinkosähköjärjestelmän kustannukset kohderakennukseen	35

1 Johdanto

Uusiutuvan energian kehitys ja käyttö ovat kasvaneet maailmalla nopeaa vauhtia. Suomessa aurinkoenergian käyttötapa ja kannattavuus on ollut keskusteluissa ajan-kohtainen jo pitkään. Opinnäytetyössäni perehdytään erilaisiin aurinkoenergian käyt-
tötapoihin ja tekniikkaan, sekä arvioidaan teoreettisesti aurinkoenergian käytön ta-
loudellista kannattavuutta omakotitaloympäristössä.

Tutkittava kohde sijaitsee Mäntyharjulla Etelä-Savossa. Työssä tutkittiin aurinkoener-
giaa yleisesti sekä sen hyödyntämiskeinoja omakotitaloympäristössä. Kohderaken-
nukseen mitoitettiin aurinkolämpö- ja -sähköjärjestelmä. Tavoitteena oli mitoittaa
aurinkoenergiajärjestelmä, jolla voitaisiin pienentää kesäajan sähkölaskua. Työn tu-
loksena voidaan vertailla aurinkolämmön ja aurinkosähkön tuotannon kustannus- ja
kannattavuuseroja. Työn tuloksia voidaan soveltaa vastaavanlaisiin omakotitaloihin
tai maatiloihin, joilla sähkönkulutus kasvaa kesäisin suureksi.

2 Aurinkoenergia

2.1 Aurinkoenergia yleisesti

Aurinkoenergia on tärkein energiamuotomme maapallolla. Ilman aurinkoenergiaa ei
elämä pallollamme olisi mahdollista. Aurinko on suuri kaasupallo, jonka arvioidaan
muodostuvan 75 % vedystä ja 23 % heliumista. Auringon tuottama säteily perustuu
fuusioreaktioon, jossa kaksi vetyatomia ydintä, kaksi protonia ja kaksi neutronia yh-
tyy heliumatomiksi. Yhden heliumkilon muodostaminen vedystä tuottaa
180000 kWh energiaa, mikä vastaa 27 000 tonnia kivihiiltä. Auringossa näitä reakti-
oita tapahtuu jatkuvasti. Reaktio vaatii toimiakseen noin 10 miljoonaa celsiusastetta,
joten reaktion saavuttaminen on haasteellista. Ihminen on onnistunut toteuttamaan
reaktion ainoastaan atomipommissa. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola & Suokivi
2008, 26.)

Auringon säteilyteho on noin 376×10^{12} TW, josta maahan säteilevän tehon osuus on
170 000 TW. Maapallon pinnalle tulevan säteilytehon määrään vaikuttavat monet

asiat, kuten pilvet, ilmansaasteet sekä pölyn määrä ilmassa. Nämä kaikki heikentävät säteilytehoa. Pilvien vaikutus auringosta saatavaan säteilytehoon on suuri. Talviaikaan pilvipeite on tasaista, jolloin suuria paikallisia vaihteluita ei auringon säteilyyn aiheudu, kun taas kesäaikana muodostuu laajoja konvektiopilvialueita. Konvektiopilvet eli alapilvet muodostuvat kesällä yleensä puolenpäivän aikaan ja häviävät illalla. Auringon säteet eivät läpäise konvektiopilviä lainkaan, joten auringon säteily on yleisesti voimakkainta ennen puoltapäivää. Auringon säteilyteho ilmakehän rajalle on 1353 W/m^2 , josta maan pinnalle saadaan kirkkaana päivänä noin 70 % suoraa säteilytehoa. Säteilyn voimakkuus vaihtelee paljon paikasta riippuen. Säteily on voimakkainta, kun aurinko paistaa kohtisuoraan pintaan nähden. (Erat ym. 2008, 26.)

Aurinkoenergiaa voi hyödyntää monilla tavoin. Yleisin hyödyntämistapa on, ikkunoiden ja koko rakennuksen suurten seinien suuntaus etelään. Tätä kutsutaan passiiviseksi aurinkoenergian hyödyntämiseksi. Lisälaitteilla talteen otettua aurinkoenergiaa kutsutaan aurinkoenergian aktiiviseksi hyödyntämiseksi. (Erat ym. 2008, 26.)

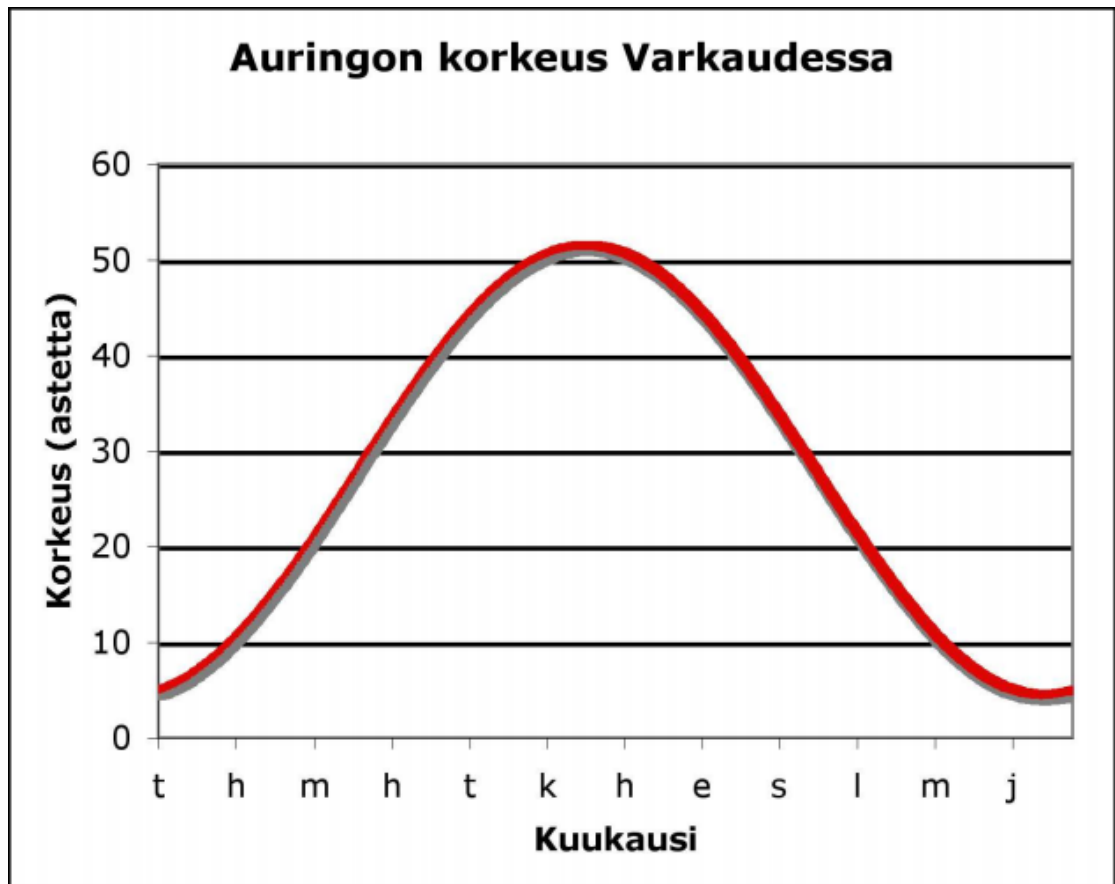
2.2 Aurinkoenergia Suomessa

Suomessa auringon säteilyenergia on Etelä-Suomessa noin 1000 kWh/m^2 ja Keski-Suomessa noin 900 kWh/m^2 . Auringon tuottaman säteilytehon määrä vaihtelee runsaasti vuodenaikojen mukaan. Kesäkuukausina säteily on voimakasta, kun taas talvisin säteilyteho on todella pieni. Auringon säteilytehoon vaikuttaa auringon paistetuntien määrä, auringon paistekulma, pilvien määrä sekä pölyn määrä ilmassa. (Erat ym. 2008, 13.) Auringon säteilyn voimakkuus ja paistetuntien määrä vaihtelee paljon Suomen sisällä. Taulukossa 1 on kuvattu auringon paistetuntien vaihtelu kuukausittain eri puolilla Suomea. Taulukosta voidaan huomata, että ero on huomattavan suuri kun verrataan Etelä-Suomen ja Pohjois-Suomen kaupunkeja toisiinsa. Kun paistetuntien määrään lisätään säteilytehojen vaihtelut Etelä- ja Pohjois-suomen välillä voidaan huomata, että hyödynnettävyys Suomen eri alueilla vaihtelee todella paljon. (Erat ym. 2008, 13 - 16.)

Taulukko 1. Kuukausittaiset auringonpaistetunnit eripuolilla suomea (Erat ym. 2008, 25)

Kuukausi	Helsinki	Vaasa	Joensuu	Utsjoki
Tammikuu	39	29	30	1
Helmikuu	72	72	69	36
Maaliskuu	130	131	131	116
Huhtikuu	183	190	174	168
Toukokuu	275	277	259	203
Kesäkuu	298	303	264	232
Heinäkuu	275	283	265	239
Elokuu	222	220	197	142
Syyskuu	135	131	114	84
Lokakuu	90	85	62	48
Marraskuu	37	40	24	7
Joulukuu	28	21	17	0

Kesäkuukausina aurinko paistaa lähes kohtisuoraan maan pintaan nähden, kun taas talvisin auringon paistekulma on lähes yhdeksänkymmentä astetta. Kuviossa 1 on kuvattu auringonkorkeuden vaihtelut kuukausittain Varkaudessa. Paistekulman vaikutus saatavaan aurinkoenergiaan on suuri, koska talvisin energia jakautuu suurelle pinta-alalle, kun säteilyä mitataan kohtisuoraan maanpintaan nähden. (Erat ym. 2008, 13-16)



Kuvio 1. Auringon säteilykulma kuukausittain Varkaudessa (Säteilymäärät.N.d)

Auringon säteily vaihtelee Suomessa runsaasti, kuten kuviosta 2 nähdään. Suuntauksen merkitys on huomattava hyödynnettäessä säteilyä. Paras hyöty saadaan suuntaamalla paneelit kohtisuoraan aurinkoa kohden. Auringon säteilytehot marraskuusta helmikuun alkuun ovat lähes olemattomia, mutta maaliskuun alusta lähtien säteily kasvaa tasaisesti aina toukokuuhun asti. Touko- kesä- ja heinäkuu ovat säteilykuukausihuippuja ja korkeimmillaan silloin päästään 180 watin säteilytehoihin neliötä kohden. Elokuusta marraskuun alkuun säteily laskee tasaisesti kohti talvikuukausien pieniä säteilyarvoja. (Erat ym. 2008, 13-16)



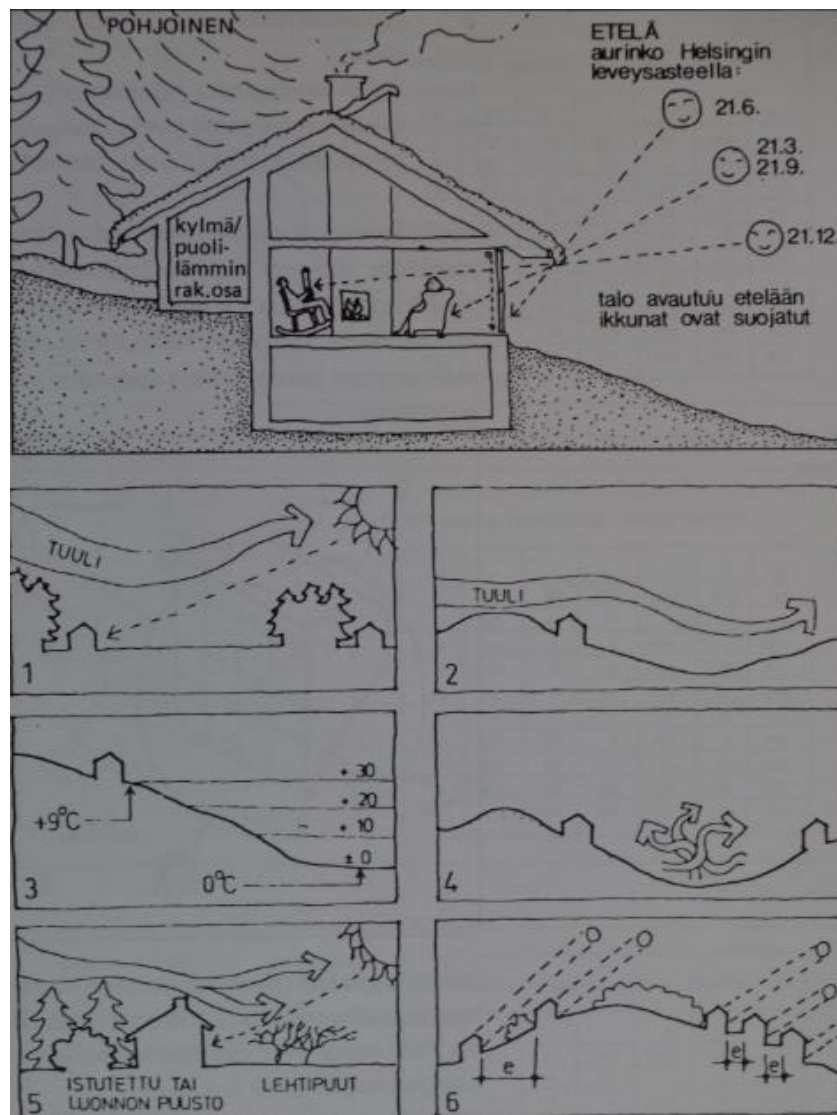
Kuvio 2. Auringon kokonaissäteily kuukausittain Suomessa (Vuositilastot.2016)

3 Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen

Aurinkoenergian hyödyntäminen rakennuksissa voidaan jakaa kahteen eri kategoriaan, aktiiviseen ja passiiviseen. Aktiivisella aurinkoenergian hyödyntämisellä tarkoitetaan lisälaitteiden avulla talteen otettavaa energiaa. Yleisimpiä aktiivisen aurinkoenergian hyödyntämiseen tarkoitettuja laitteita ovat aurinkopaneelit ja aurinkokeräimet. Aktiivisten laitteiden toiminta esitellään myöhemmin työssäni.

Passiivisella aurinkoenergian hyödyntämisellä tarkoitetaan aurinkoenergian hyödyntämistä ilman erillisiä lisälaitteita ja välineitä. Pääperiaate on, että energia siirtymisen varastoon ja sieltä käyttöön tapahtuu luonnonvoimalla. Keräiminä passiivisessa järjestelmässä toimivat ikkunat ja rakennuksen ulkopinta. Passiivissa järjestelmässäkin tarvitaan säätöjärjestelmää, jolla voidaan hallita energian kulkua tai tarvittaessa pysäyttää se kokonaan. Tällaisia välineitä ovat muun muassa verhot, sälekaihtimet, luukut, ovet ja seinät. Passiivisia järjestelmiä kannattaa joissakin tilanteissa tehostaa mekaanisilla laitteilla kuten puhaltimella, jolla energian siirtymistä varastosta tilaan voidaan nopeuttaa. Kaikki asuinrakennukset hyödyntävät aurinkoenergiaa, mutta hyödyntämisen määrään voidaan vaikuttaa suuresti suunnittelu- ja rakennusvai-

heessa. Suurimpia hyödyntämiseen vaikuttavia tekijöitä ovat rakennuksen sijoittaminen, koko, suuntaus, rakennusmateriaalit sekä ikkunoiden koko. Oikein sijoitetussa ja asiantuntevasti suunnitellussa rakennuksessa voidaan saada noin viidesosa lämmöntarpeesta passiivisesti aurinkoenergiasta. Kuviossa 3 on esitetty kuusi tapaa, joilla passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen onnistuu. Tärkeimpinä pääkohtina kuviossa on esitetty talon sijoittaminen siten, että se on tuulensuojassa, mutta pystyy hyödyntämään auringon säteilyä. Kun rakennukset on sijoitettu etelärinteeseen, talot eivät varjosta toisiaan, vaikka ne olisivat lähekkäin. Talon sijoittamisesta maastossa korkealle on hyötyä, koska lämpötila nousee noin yhden asteen jokaista kymmentä nousumetriä kohden. (Erat ym. 2008, 52-54.)



Kuvio 3. Kuusi tapaa sijoittaa rakennus energiataloudellisesti (Erat ym.2008, 53.)

Rakennusten ympärillä oleva puusto vaikuttaa suuresti passiivisen energian hyödyntämiseen. Puusto suojaa rakennuksia hyvin tuulelta, mutta varjostaa myös aurinolta. Tästä syystä rakennuksen eteläpuolelle paras kasvusto olisivat lehtipuut, joiden lehdet muodostavat kesäisin suojan liialta auringon paisteelta, mutta talvisin eivät ole sen esteenä. Passiivisen energian käytön kannalta tärkeimpiä asioita ovat rakennuksen ja sen ikkunoiden suuntaus. Suurimmat ikkunat ja seinärakenteet kannattaa sijoittaa kohti etelää, jolloin auringon säteilystä saadaan suurin hyöty talteen. Katto- ja räystäsrakenteiden suunnittelulla voidaan vaikuttaa taloon tulevan säteilyn määrään siten, että ne suojaavat säteilyltä kesäisin mutta päästävät säteilyn sisään talvisin, kun aurinko paistaa matalammalta. (Erat ym. 2008, 38 - 48.)

Passiivisen energian varastointiin on monia tapoja. Yleisimpiä tapoja on valita lattia- ja seinämateriaalit siten, että ne pystyvät varastoimaan auringon säteilylämmön itseensä ja vapauttamaan ne ilta- ja yöaikaan huoneistotilaan. Yleisimpiä energian varastointiin käytettäviä materiaaleja ovat betoni ja tiili, koska niitä voidaan samalla käyttää myös tulisijojen rakenteina. Varastointiin voidaan käyttää myös erikoisempia materiaaleja, kuten glaubersuolaa lisäaineyhdisteiden kanssa. Niillä faasimuutos kiinteästä nesteeksi tapahtuu jo 23 celsiusasteessa. Faasimuutokseen varastoituu energiaa moninkertaisesti enemmän kuin esimerkiksi betoniin tai tiileen. Taulukossa 2 on eritelty eri aineiden lämmönvarastointikykyä. (Erat ym. 2008, 56 - 58.)

Taulukko 2. Aineiden lämpökapasiteetteja (Erat ym. 2008, 56)

Aine	Tilavuuspaino kg/m ³	Ominaislämpö (lämmönvarastointikyky) kWh/m ³ °C	kWh/m ³ 30°C	Suhteellinen varastointikyky
Vesi	1000	1,16	34,8	1
Betoni, kuiva	2200	0,53	15,9	0,46
Kevytbetoni	600	0,15	4,5	0,13
Tiili	1800	0,46	13,8	0,40
Lasi	2500	0,56	16,8	0,48
Sora, kosteus 2%	1760	0,41	12,3	0,35
Moreeni, kosteus 7%	2090	0,66	19,8	0,57
Savi, kosteus 17%	1500	0,63	18,9	0,54
Glaubersuola	1500	0,75	22,5	0,65
Glaubersuola		faasimuutos	105	

4 Aktiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen

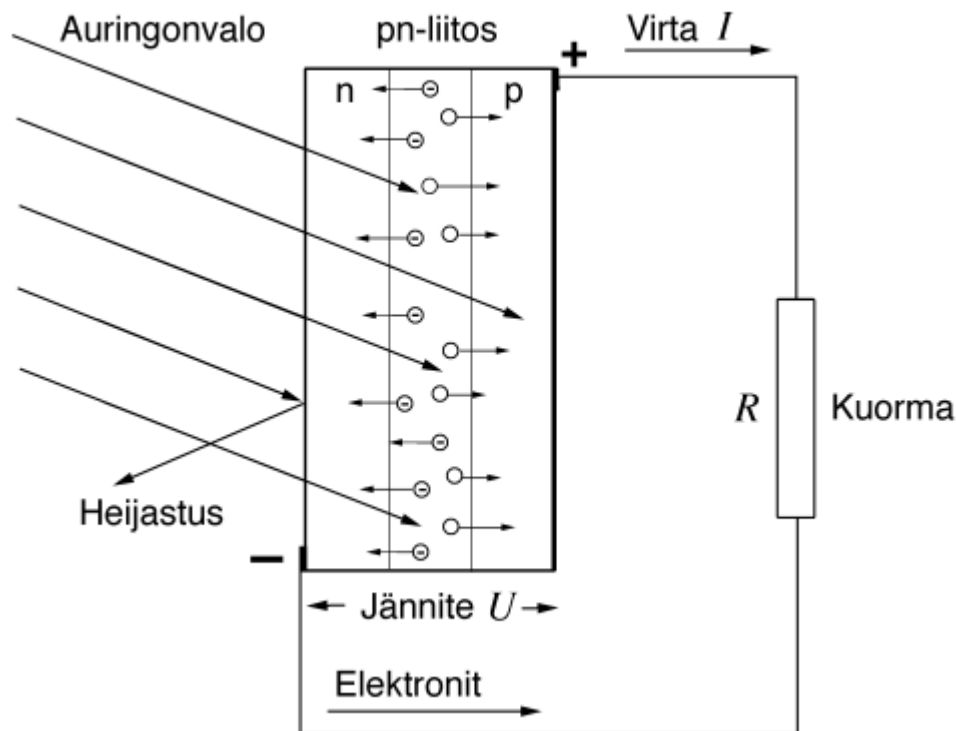
4.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit ja aurinkokeräimet ovat yleisin tapa hyödyntää aurinkoenergiaa aktiivisesti. Aurinkokennot ovat auringon säteilyä hyödyntäviä sähköä tuottavia laitteita. Auringon säteilyn huomattiin vaikuttavan elektronien väliseen jännitteeseen ensimmäisen kerran vuonna 1839. Aurinkopaneelit muodostuvat useista toisiinsa liitetystä kennoista. Ensimmäisen toiminnallisen aurinkopaneelin rakensi yhdysvaltalainen Fritz, joka käytti materiaalina seleeniä. Nykyisen aurinkokennon aikakauden katsotaan alkaneen vuonna 1954, jolloin Bell Labs -tutkimuskeskuksessa havaittiin sähköinen ilmiön piistä valmistetussa pn-liitoksessa. (Korpela, A.N.d)

Aurinkopaneelien kehitykseen vaikutti suuresti öljykriisi, jonka aikana monet valtiot alkoivat panostaa uusiutuvan energian kehittämiseen. Aurinkopaneelien valmistustekniikka saatiin riittävän kehittyneelle tasolle 1980-luvulla, jolloin aurinkopaneelitehtaita alettiin rakentaa Yhdysvaltoihin, Japaniin ja Eurooppaan. Paneelien valmistuskustannukset olivat alussa korkeita, mikä hankaloitti kennojen myyntiä. (Korpela, A.N.d)

Aurinkokennon tuottama jännite perustuu auringon sähkömagneettisen säteilyn fotonien ja paneelin elektronien väliseen vuorovaikutukseen. Kennossa fotonien ener-

gia siirtyä elektroneille, muodostaen jännitteen pn-liitoksen välille. Kuviossa 4 on kuvattu aurinkokennon toimintaperiaate. Nykyiset aurinkokennot on valmistettu piistä. Aurinkokennot voidaan valmistaa joko yksi- tai monikiteisestä piistä. (Korpela,A.N.d)



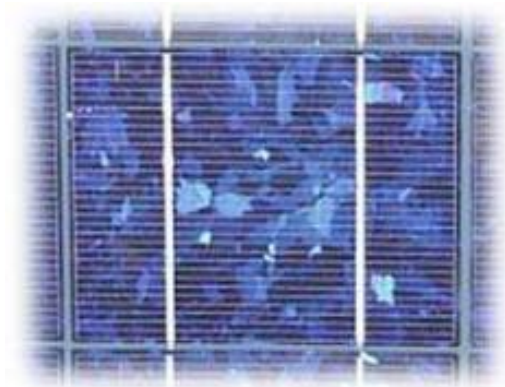
Kuvio 4. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Aurinkoenergia. 2012)

Yksikiteiset aurinkokennot on valmistettu sahaamalla 0,2 - 0,3 mm paksusta pii-aihiosta (90–160) mm X (120–160) millimetrin paloja. Yksikiteisen kennon hyötysuhde on parempi kuin monikiteisen koska piikide on yhtenäinen. Toisaalta yksikiteisen kennon valmistaminen on kalliimpaa, koska piikideaaihiot ovat pyöreitä, ja muokattaessa ne paneeliin sopiviksi syntyy paljon hukkaa, jota ei voida hyödyntää. Yksikiteisen kennon laidat on jätetty pyöreiksi, jotta hukkapaloja ei syntyisi niin paljon. Kuviossa 5 on yksikiteinen kenno, ja kuviossa 6 monikiteinen aurinkokenno. Yksikiteisen kennon teoreettinen hyötysuhde on 31 %. Monikiteiset kennot ovat edullisempia valmistaa, koska niissä kiteet on liitetty toisiinsa, jolloin valmistuksessa ei synny niin paljon hukkaa. Aurinkokennojen kiteet on päällystetty mahdollisimman ohuilla johtimilla, joiden tehtävä on kuljettaa muodostunut jännite käyttökohteeseen. Kennon pinnalla olevat

johtimet ja niiden liitokset huonontavat hyötysuhdetta, koska ne peittävät paneelin kiteitä. (Aurinkoenergia.N.d, 2-3)



Kuvio 5. Yksikiteinen kenno (Aurinkoenergia.N.d)



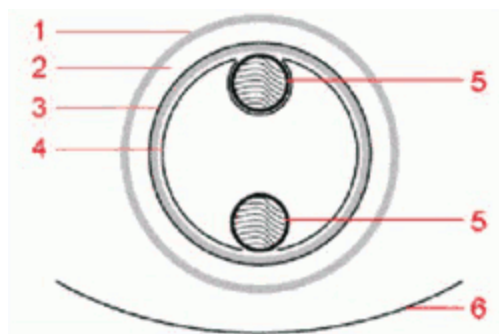
Kuvio 6. Monikiteinen kenno (Aurinkoenergia.N.d)

4.2 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimellä tarkoitetaan järjestelmää, jolla auringon lämpösäteily kerätään talteen ja siirretään vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Keräimen vastaanottama säteilylämpö voidaan siirtää ilman tai nesteen avulla joko lämpövarastoon tai suoraan käyttöön. Nestekiertoiset lämpökeräimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, taso- ja tyhjiöputkikeräimiin. (Erat ym. 2008, 72-73). Seuraavissa luvuissa on esitetty eri keräintyyppien toimintaperiaatteet ja päälaitteet.

4.2.1 Tyhjiöputkikeräimet

Tyhjiöputkikeräimiä on kahdentyyppisiä. Yleisimmissä tyhjiöputkikeräimissä lämmönsiirtoneste kulkee U-muotoisessa putkessa keräten lämpöä. Lämmönsiirtoneste kulkee kupariputkessa tyhjiön ja absorbaattorilasipinnan sisällä. Tyhjiön avulla keräimessä tapahtuvat häviöt saadaan pienemmiksi. Tyhjiö johtaa lämpöä huonosti, joten auringonsäteilystä saatava lämpöenergia saadaan kerättyä paremmin talteen kylmilläkin keleillä. Tyhjiökeräimessä on yleensä myös parabolinen peili, jonka avulla auringonsäteet kerätään yhteen. Peilin avulla auringonsäteitä keräävä pinta-ala saadaan suuremmaksi edullisesti. (Erat ym. 2008, 72). Kuviossa 7 on eritelty tyhjiöputkikeräimen pääosat.

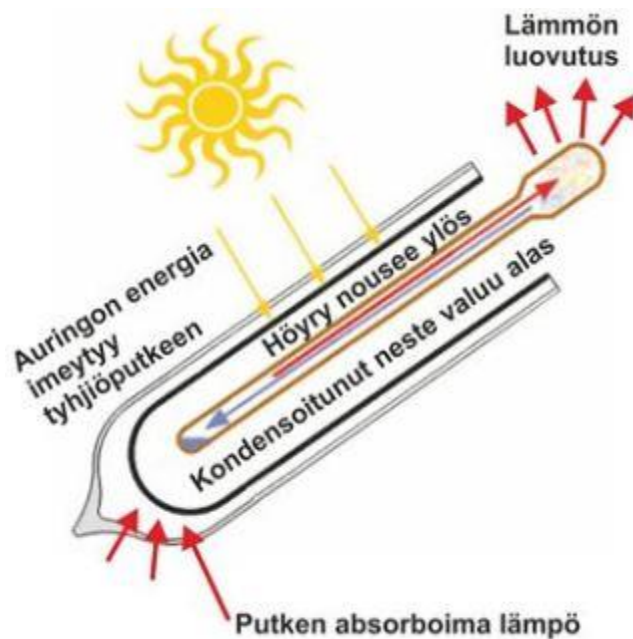


Kuvio 7. Tyhjiökeräin (Erat ym. 2008, 72)

1. Ulkolasisseinä
2. Tyhjiö
3. Absorbaattori, musta pinta
4. Sisälasisseinä
5. U-muotoinen kupariputki
6. Parabolinen peili

Toista tyhjiöputkikeräinmallia kutsutaan heat-pipe lämpöputkeksi. Heat-pipe-lämpöputki muodostuu tyhjiöstä, jonka sisällä umpinaisessa putkessa lämmönsiirtoneste höyrystyy auringonsäteilylämmöstä. Lämpökeräimen sisällä oleva neste höyrystyy lämmetessään, jolloin se siirtyy putken yläpäähän, jossa lämpö siirtyy kuparista lämmönsiirrintä pitkin toiseen nesteeseen. Lämmön siirryttyä siirtopiiriin putkessa oleva

höyry lauhtuu ja valuu takaisin putken pohjalle. Tyhjiöputkikeräinten etuna on laaja käyttöalue, koska tyhjiön avulla paneelissa tapahtuvat lämpöhäviöt ovat pienempiä. (Erat ym. 2008, 73)



Kuvio 8 Heat-pipe-lämpöputki (Putkikeräinjärjestelmä. 2013)

4.2.2 Tasokeräimet

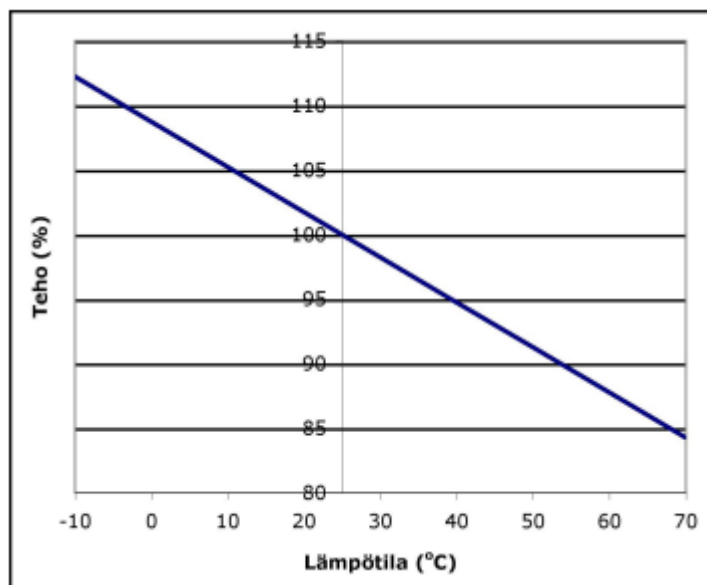
Tasokeräimet ovat tasomaisia levyjä, joiden sisällä kiertää lämmönsiirtoneste tai ilma. Keräinelementin tumma pinta absorboi auringonsäteilyä ja kuumentaa näin keräintä. Tasokeräimet voivat toimia nesteellä tai ilmalla. Nestekiertoiset keräimet ovat yleisempiä, koska nestekiertoisen keräimen on pienempi ja nesteen lämpö on helpompi varastoida. Ilmakiertoisella keräimellä saman lämpöenergian saaminen talteen vaatii huomattavasti suuremman pinta-alan. Ilman lämpökapasiteetti ja siirtokyky on huomattavasti huonompi kuin esimerkiksi veden. Jos ilmakeräimellä halutaan ottaa talteen sama määrä energiaa kuin vedellä, tarvitaan noin 4000 kertaa suurempi tilavuusvirta. Se tarkoittaa, että virtauskanavat kasvavat samassa suhteessa, koska virtausnopeudet ilma- ja nestekeräimellä ovat samat. (Erat ym. 2008, 72-82.)

Nestekiertoiset tasokeräimet ovat yleisimmin käytettyjä aurinkokeräimiä niiden edullisen hinnan ja korkean laajan käyttöalueen ansiosta. Tasokeräimen hyötysuhde ei

yllä kuitenkin tyhjiökeräimen tasolle kylminä kuukausina. Aurinkokeräimen hyötysuhde vaihtelee 25–50 % välillä. Tutkimusalueella keskimääräinen auringon säteilyenergia on noin 900 kWh/m² vuodessa, joten aurinkokeräimellä voitaisiin korkeimmillaan tuottaa 225-450 kWh/m² vuodessa. (Tietoa aurinkokeräimistä.N.d)

4.3 Hybridikeräimet

Hybridikeräimet ovat aurinkokeräimen ja -paneelin yhdistelmä. Keräimen pinta on kiderakenteinen aurinkopaneeli, ja sen alla sijaitsee lämpöä talteen ottava lämpökeräin. Tavallisessa aurinkopaneelissa sähköntuotannon hyötysuhde huononee paneelin pintalämpötilan noustessa. Hybridikeräimessä kulkeva neste jäähdyttää paneelia ja pitää sähköntuotannon hyötysuhdetta korkeammalla, varsinkin kuumina kesäpäivinä. Lisäksi paneelia jäähdyttävän nesteen lämpö voidaan ottaa talteen ja käyttää esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen. Kuviossa 8 on kuvattu paneelin pintalämpötilan vaikutus paneelin sähköntuottoon. Pintalämpötilan vaikutus tuotantoon on huomattavan suuri kuumina kesäpäivinä, jolloin paneelin pintalämpötila voi helposti nousta yli 70 celcius -asteen. Hybridiominaisuuden avulla paneelin lämpötila saadaan pysymään noin 30 celcius-asteen matalampana. Tämä korottaa sähköntuotannon hyötysuhdetta noin 10 %. (Säteilymäärät. N.d)



Kuvio 9 Lämpötilan vaikutus sähköntuotantoon (Säteilymäärät.N.d)

5 Energian varastointi

Auringonpaisteen vuodenaikaiset ja vuorokautiset vaihtelut muodostavat haasteen aurinkoenergian käytölle, koska energiantarpeemme ei kohdistu aina aurinkoisille ajankohdille. Aurinkoenergian varastoinnilla on suuri merkitys sen kannattavuuteen ja käytettävyyteen. Suurimmat ongelmat ja haasteet aurinkoenergian käytölle löytyvät juuri sen varastoinnista ja siinä tapahtuvasta häviöistä. Varastoinnin tarve ja varastointitapa riippuu pitkälti siitä, tuotetaanko säteilystä lämpöä vai sähköä.

5.1 Aurinkolämmön varastointi

Lämpökeräinten tuottaman energian varastointi voidaan toteuttaa monella tapaa. Lämpö voidaan varastoida talon rakenteisiin, olemassaolevaan lämminvesivaraajaan tai erilliseen lämpövaraan. (Erat ym. 2008, 108-114.)

Talon rakenteisiin perustuva lämmön varastointi perustuu massiivisten rakenteiden massaan, kuten lattiaihin, tiili- ja betoniseiniin, välipohjaan ja pilareihin. Suuren massan ja materiaalin lämpökapasiteetin ansiosta rakenteet pystyvät tasaamaan talon lämpötilaa eri vuorokauden aikoina. Päiväsaikaan tuotettu lämpö siirtyy tai siirretään suureen rakenteeseen, ja yöaikaan rakenne luovuttaa lämmön takaisin käyttöön. Pääasiassa rakenteisiin varastointia käytetään passiivisen aurinkoenergian hyödyntämiskeinona, mutta sitä voidaan hyödyntää myös aktiivisessa järjestelmässä tehokkaasti. (Erat ym. 2008, 108-114.)

Lämmönvarastointi lämminvesivaraajaan on yleisin keino ottaa talteen saatu lämpöenergia. Varaajat voidaan liittää suoraan käytössä olevaan lämmitysjärjestelmään ja käyttää rinnakkain kaikkien vesikiertoon perustuvan lämmön kanssa. Vesivaraaja mitoitetaan yleensä vuorokautisen tarpeen mukaan, normaalissa omakotitaloissa käytetyimmät koot ovat 300 - 1000 litraa. Varaajan oikea mitoitus ja valinta on tärkeää jotta tuotetusta lämmöstä hyödyttäisiin mahdollisimman paljon. Lämminvesivaraajan kytkentä voidaan toteuttaa monella eri tapaa. Varaaja voidaan liittää siten, että lämpö siirretään varaajan yläosaan, alaosaan tai siten, että kerääjästä tuleva lämpö

kiertää ensin yläosaan ja sen jälkeen alaosaan. Kytchentätapa valitaan sen mukaan mihin lämpöä tarvitaan eniten. Jos käyttövedelle on eniten tarvetta, kannattaa keräinten kierto kytkeä varaajan yläosaan, jos taas käyttöön ei tarvita kuumaa vettä, voidaan kierto kytkeä varaajan alaosaan. Kytkenän liittämällä pelkästään varaajan yläosaan on negatiivinen vaikutus kerääjän tuottamaan tehoon, koska lämpötilaero kerääjän sisällä pienenee. Tehokkain ratkaisu vesivaraajissa on kytkeä kierto siten, että lämpö luovutetaan ensin varaajan yläosaa ja sitten alaosaa. Kuviossa 14 on esitetty hybridivaraajan kytkentä aurinkojärjestelmään. (Erat ym. 2008, 108-114.)

Kehittyneissä aurinkolämpövaraajissa käytetään pystysuoria lämmönvaihtimia tai lämmönvaihtimen ympärille rakennettuja virtauksen ohjaimia. Virtauksen ohjaimilla tarkoitetaan putkea jossa on aukkoja, lämmönkeräyspiirin vaihtimelta tuleva vesi nousee putkessa sille korkeudelle jossa on saman lämpöinen vesi, ja alaosan kylmävesi menee takaisin lämmönvaihtimelle. (Erat ym. 2008, 108-114.)

Lämpöä voidaan varastoida myös kausivarastoihin, joissa säilytysaika on useita kuukausia. Näiden säiliöiden tilavuus on kymmeniä tuhansia kuutioita. Suomessa kausisäilytysvaraajat ovat todella harvinaisia. Suomessa suuria varaajasäiliöitä on käytössä kaukolämpölaitoksissa, mutta käytännössä niiden käyttö ei ole kausivarastointia. (Erat ym. 2008, 108-114.)

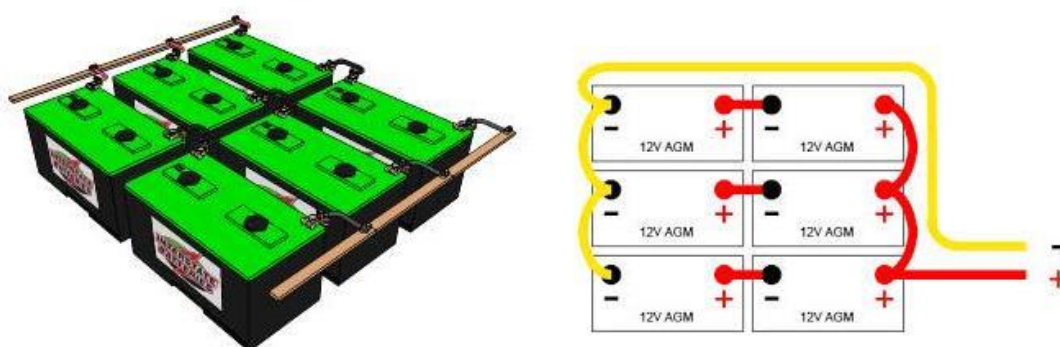
Suurien lämpömäärien varastointi onnistuu faasimuutokseen perustuvilla varaajilla. Faasimuutoksen tarvitsema energia on moninkertainen verrattuna pelkkään aineen lämpötilan muutokseen. Faasimuutosvaraajissa sulamisen tulisi tapahtua tasaisesti, ja olomuodon muutosprosessin monta kertaa. Aineita, joiden sulamislämpötila on sopiva omakotitalotarpeisiin, ei ole kovin montaa. Nämä seikat tuovat lisävaatimuksia valittavalle aineelle. Sopivin aineyhdiste on glaubersuola jonka sulamislämpötila on 32 °C. Sulamisreaktio suolalla onnistuu vain osittain, mutta se saadaan hallintaan lisäaineilla. (Erat ym. 2008, 108-114.)

5.2 Aurinkosähkön varastointi

Aurinkosähkön laajaan hyödyntämiseen tarvitaan varastointiratkaisu. Sähköä voidaan varastoida akkuihin, mekaanisiin vauhtipyöriin ja suuriin vesialtaisiin. Kotitalouksissa varastointiin käytetään lähinnä akustoja.

Akku on sähkökemiallinen energiavarasto, johon on sarjaan kytkettynä noin 2 voltin yksikkökennoja. Kennoja sarjaan kytkemällä saadaan akun jännitetaso halutuksi. Tavallisimpia jännitetasoja akuille ovat 6-, 12-, 24-Voltia. Akuston jännitetason valinta tulee tehdä aurinkopaneeliston jännitettä vastaavaksi. Yksittäisen akkukennon jännite vaihtelee 1,8 – 2,5 Voltin välillä. Kennon jännitteen laskiessa 1,85 V luokitellaan kenno tyhjäksi. Energiavaraston haluttu koko saavutetaan akkujen rinnankytkennällä. (Erat ym. 2008, 128) Akuston energiavaraston koko ilmoitetaan ampeeritunteina (Ah). Ampeeritunnilla tarkoitetaan akun varauskykyä akulle määritetyllä toimintajännitteellä. Esimerkiksi 12-Voltin ja 100Ah akun energiamäärä voidaan laskea kertomalla jännite ampeeritunneilla. $12V \cdot 100Ah = 1200$ wattituntia eli 1,2 kWh. (Lyijyakkujen ABC.2012, 2)

Kuviossa 10 on kuusi 12-Voltin akkua kytkettynä sarjaan ja rinnan. Sarjaan kytkennällä tarkoitetaan akkujen plus- ja miinusnapojen yhdistämistä, ja rinnankytkennällä miinusnapojen yhdistämistä ja plusnapojen yhdistämistä. Sarjaan kytkennässä akkujen jännite saadaan korkeammaksi. Kuviossa 10 on sarjaan kytketty kaksi 12-V akkua, jolloin jännitteeksi saadaan 24-Voltia. (Lyijyakkujen ABC.2012, 1)



Kuvio 10. Akkujen kytkentä (Akut ja laturit.N.d)

6 Kohderakennuksen energiantarve

Kohderakennus sijaitsee Etelä-Savossa Mäntyharjun kunnassa. Pihapiiriin kuuluu päärakennus, vanha navettarakennus, autotalli, aitta sekä grillikatos. Reilun sadan metrin päässä sijaitsee myös kesämökki, jonka sähköistys on hoidettu päärakennuksen kanssa samasta mittarista. Päärakennus on valmistunut 2004 ja siinä on modernit lämmöntalteenottojärjestelmät sekä lattialämmitys. Päärakennus on massiivihirrestä rakennettu, 200 neliöinen kaksikerroksinen omakotitalo.

Asuinrakennuksen lämmitys hoidetaan pääasiassa pellettikattilalla, joka sijaitsee navettaan rakennetussa pannuhuoneessa. Loppukevään ja kesän lämmitys hoidetaan kokonaan sähköllä, koska pellettikattila ei pysy päällä pienen kulutuksen vuoksi. Nykyisen lämmitysjärjestelmän kattila on Thermia Oy:n Arimax 340 Bio -kattila. Kattilan maksimiteho on 40 kW. Kattilapaketti sisältää 250 litran varaajan sekä 6 kW sähkövastuksen. Kattilan toiminta on toteutettu siten, että viereisessä huoneessa on pellettisiilo, josta polttoaine syötetään kattilaan ruuvin avulla. Kattilaa ohjaa erillinen ohjausjärjestelmä, joka ohjaa kattilan joko täydelle teholle tai ylläpitoteholle. Järjestelmä on ohjelmoitu nostamaan kattilan teho, kun varaajan lämpötila on laskenut alle 55 asteen. Kun varaajan lämpötila on saavuttanut 80 astetta, siirtyy kattila jälleen ylläpitotilaan.

6.1 Energian kulutus

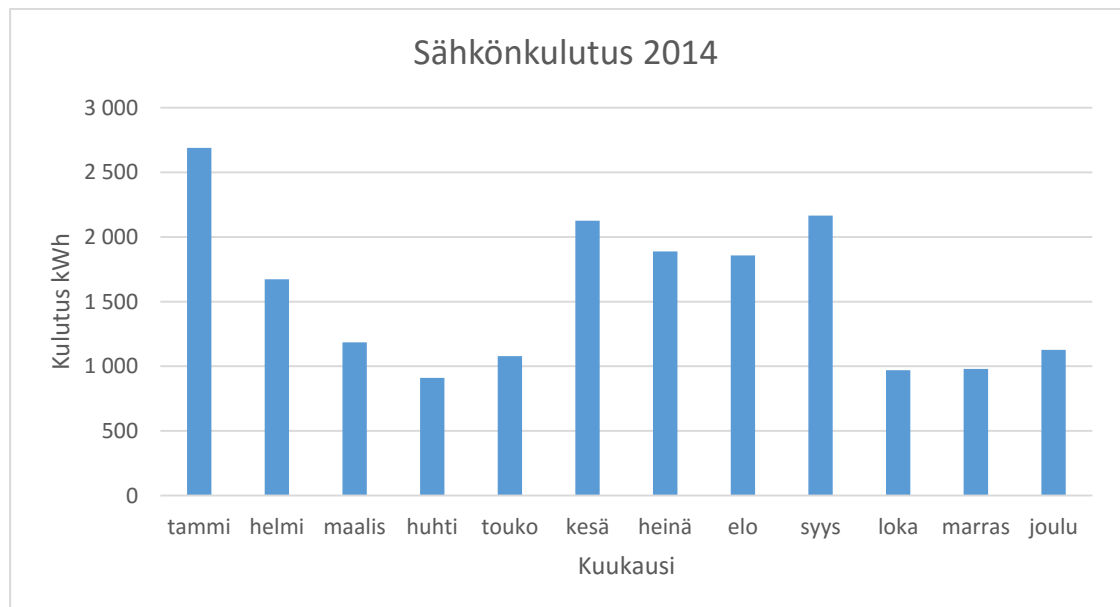
Nykyisellä energian käytöllä pellettiä kuluu vuosittain noin 8000 kg. Pelletin tehollinen lämpöarvo on noin 16,8 Mj/kg, joten lämpöä tuotetaan pelletillä noin 37 333 kWh. Pelletin kilowattihinta saadaan jakamalla pelletin ostokustannukset tuotetulla energialla. Pelletin hintana on käytetty arvoa 130 € / 500 kg, jolloin kokonaiskustannus vuodessa on 2080 €. Pelletin kilowattituntihinnaksi saadaan 5,6 senttiä.

$$\frac{2080\text{€}}{37333\text{kWh}} = 0,056 \text{ €/kWh}$$

Sähkönkulutus vuonna 2014 oli 18 649 kWh. Kesäkuukausien sähkönkulutus on 31 % koko vuoden sähkönkulutuksesta, osuus muodostuu sähkövastuksen kuluttamasta

sähköstä sekä sähkölaitteiden käytöstä. Kesäajan sähkönkulutuksen kasvu johtuu myös kesämökin käytöstä, mikä näkyy selvästi sähkönkulutuksen kasvuna kesäkuukausina.

Kuviossa 12 on kuvattu sähkönkulutuksen jakautumista eri kuukausina.



Kuvio 11. Kohderakennuksen kuukausittainen sähkönkulutus

6.2 Käyttövesi

Käyttövettä asuinrakennuksessa kuluu arviolta 155 l/vrk henkilöä kohti. Tarkkaa vedenkulutusta ei ole tiedossa, koska rakennuksessa on oma kaivo, jossa ei ole kulutusmittausta. Rakennuksessa asuu kolme henkilöä, joten kokonaiskulutus on 465 litraa vuorokaudessa. Lämpimän veden kulutuksen osuus kokonaiskulutuksesta on arviolta 40 %. Näin ollen vettä täytyy lämmittää 186 litraa vuorokaudessa. Veden lämmitykseen käytettävä energia on laskettu alla olevalla kaavalla. Vesi lämmitetään +8 C - asteesta +58 C - asteeseen.

$$Q = \frac{mc\Delta t}{3600}$$

$$\frac{186 \frac{kg}{vrk} * 4,12 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * 50^{\circ}C}{3600} = 10,85 kWh$$

Kaavan avulla käyttöveden lämmitysenergian tarpeeksi saadaan 10,85 kWh vuorokaudessa. Taulukossa 3 on laskettu kuukausittainen käyttöveden lämmitykseen kuluva sähkön määrä sähkölämmityskuukausina. Rakennuksessa sähkölämmitys on käytössä toukokuun puolesta välistä syyskuun loppuun saakka.(Energiankäytön tehostaminen.2015)

Taulukko 3. Kohderakennuksen kesäajan lämmönkulutus

Kuukausi	Lämmitysenergia kWh
Toukokuu	168 kWh
Kesäkuu	325 kWh
Heinäkuu	336 kWh
Elokuu	336 kWh
Syyskuu	325 kWh

6.3 Rakennuksen lämmitys

Rakennuksen lämmitetään pääasiassa pellettikattilan avulla. Loppukevällä ja kesällä lämmitys hoidetaan pellettikattilassa olevalla sähkövastuksella. Toukokuun lopun ja syyskuun lopun lämmitystarpeen arviointi on laskettu rakentamismääräyskokoelman osan D5/2012 liitteenä löytyvästä uudisrakennuksen energialuvun laskentataulukosta. Taulukossa 4 on laskettu vastaavan rakennuksen lämmitystarve neliötä kohden.

Taulukko 4. Rakennuksen lämmitysenergian tarve (Energiatodistuksen laadinta-esimerkki.2013, 37)

Kuukausi	Kokonaistarve Q_{tila} kWh/m ²	Lämpökuomista $Q_{sis. lämpö}$ kWh/m ²	Nettotarve $Q_{lämmitys, tilat, netto}$ kWh/m ²
Tammikuu	15,04	3,34	11,70
Helmikuu	13,94	3,62	10,31
Maaliskuu	14,61	5,07	9,55
Huhtikuu	10,90	5,45	5,44
Toukokuu	8,18	5,79	2,40
Kesäkuu	6,14	5,00	1,14
Heinäkuu	4,30	3,96	0,34
Elokuu	5,24	4,34	0,89
Syyskuu	7,41	4,91	2,51
Lokakuu	9,66	3,88	5,78
Marraskuu	12,06	3,30	8,76
Joulukuu	13,92	3,29	10,62
koko vuosi	121,4	52,0	69,4

Taulukon 4 avulla voidaan määrittää lämmitykseen kuluvan energian määrä ajalla, jolloin taloa lämmitetään sähköllä. Lämmitystarve saadaan kertomalla talon netto-pinta-ala tilan lämmitystarveluvulla jokaista kuukautta kohden (ks.talukko 5). Asuin-rakennuksen lämmitettävä pinta-ala on 200 m².

Taulukko 5. Laskennallinen lämmitysenergian tarve kohderakennuksessa

Kuukausi	Lämmitystarve kWh/m ²	Lämmitysenergia kWh
Toukokuu	2,40 kWh/m ²	240 kWh
Kesäkuu	1,14 kWh/m ²	228 kWh
Heinäkuu	0,34 kWh/m ²	68 kWh
Elokuu	0,89 kWh/m ²	178 kWh
Syyskuu	2,51 kWh/m ²	502 kWh

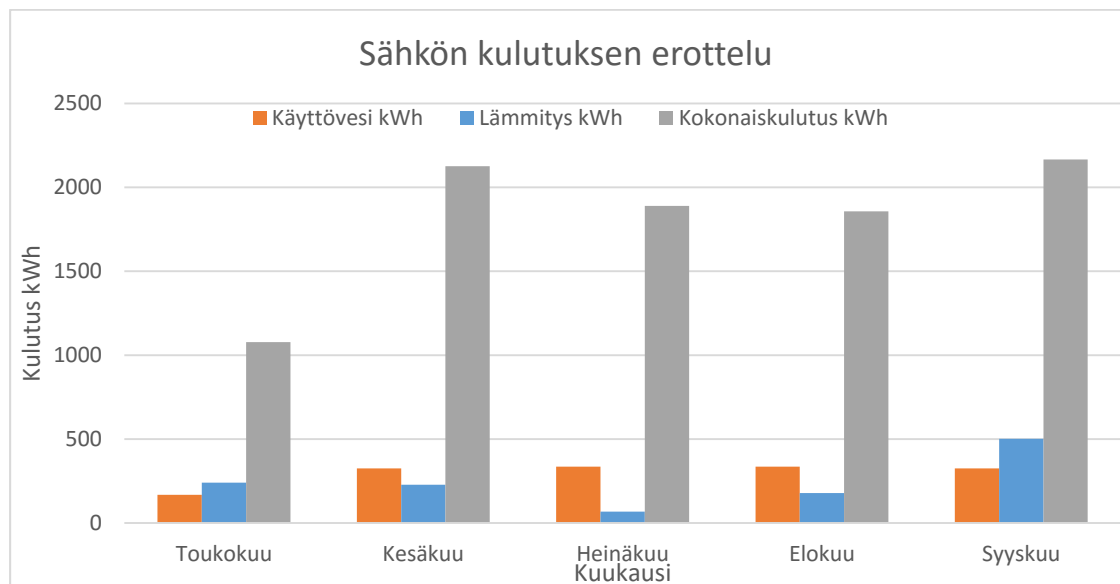
6.4 Lämmitykseen kuluva sähkö

Taulukossa 6 ja kuviossa 12 on eritelty kesäajan sähkönkulutus. Rakennuksen lämmitykseen ja käyttöveden lämmitykseen kuluu noin neljännes

kokonaissähkönkulutuksesta kesäaikana. Toukokuun kulutus on laskettu puolikkaalta kuukaudelta, koska pellettikattila on käytössä siihen asti.

Taulukko 6. Kesäajan sähkönkulutus kohderakennuksessa

Kuukausi	Käyttövesi kWh	Lämmitys kWh	Kokonaiskulutus kWh
Toukokuu	168 kWh	240 kWh	1078 kWh
Kesäkuu	325 kWh	228 kWh	2126 kWh
Heinäkuu	336 kWh	68 kWh	1889 kWh
Elokuu	336 kWh	178 kWh	1857 kWh
Syyskuu	325 kWh	502 kWh	2166 kWh



Kuvio 12. Energiakulutuksen erottelu kohderakennuksessa

7 Järjestelmän mitoitus

Aurinkoenergiajärjestelmä voidaan toteuttaa monella eri tavalla ja erilaisilla laitteilla. Opinnäytetyössäni tutkittiin lämpökeräinratkaisun sekä aurinkopaneeliratkaisun kannattavuutta ja mitoitusta. Järjestelmän mitoituksessa käytetyt kaavat löytyvät liitteestä 2.

7.1 Lämpökeräinratkaisu

Lämpökeräimien avulla pyritään tuottamaan mahdollisimman paljon kesäajan lämmitystarpeesta. Keräimet on mitoitettava heinäkuun kulutuksen mukaan, koska keräimien tuotanto on silloin suurimmillaan ja vastaavasti kulutus on silloin pienintä. Järjestelmä voitaisiin mitoittaa myös suuremmaksi, mutta silloin ylimääräiselle lämmölle pitäisi olla paikka johon saadaan siirrettyä. Ylimääräiselle lämmölle hyvä siirtopaikka olisi esimerkiksi uima-allas.

Keräinten suuntauksella ja kallistuskulmalla on suuri merkitys aurinkokeräimen tuotantoon. Taulukossa 7 on ilmoitettu auringon kallistuskulman vaikutus aurinkolämpöjärjestelmän tuotantoon. Parhaimpaan mahdolliseen tuotantoon päästään kun paneelin asentoa muutetaan kuukausittain. Kohderakennukseen aurinkokeräimet asennetaan 60° kulmaan, jotta vuosituotanto saadaan mahdollisimman korkeaksi. Kulman valintaan vaikuttaa yleensä talon kattokulma johon keräimet asennetaan. Suuntauksen vaikutus tuotantoon selviää taulukossa 8 annetuista ilmansuuntakertoimista. Kohderakennuksen paneelit asennetaan etelää kohden.

Taulukko 7. Auringon kallistuskulman vaikutus aurinkokeräimen tuotantoon (Heimonen, I. 2011)

Kuukausi	Korjauskertoimet etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla, paikkakunta Jyväskylä				
	0°	30°	45°	60°	90°
Tammikuu	1,00	1,50	1,75	1,75	1,75
Helmikuu	1,00	1,95	2,27	2,50	2,55
Maaliskuu	1,00	1,57	1,75	1,85	1,75
Huhtikuu	1,00	1,25	1,30	1,29	1,13
Toukokuu	1,00	1,09	1,07	1,01	0,78
Kesäkuu	1,00	1,03	0,99	0,90	0,63
Heinäkuu	1,00	1,05	1,01	0,93	0,66
Elokuu	1,00	1,12	1,11	1,05	0,80
Syyskuu	1,00	1,28	1,33	1,33	1,11
Lokakuu	1,00	1,46	1,62	1,65	1,54
Marraskuu	1,00	1,33	1,33	1,50	1,33
Joulukuu	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
Vuosi	1,00	1,21	1,26	1,27	1,13

Taulukko 8. Suuntauksen vaikutus aurinkokeräimen tuotantoon (Heimonen, I. 2011)

Suuntaus	k
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukossa 9 on laskettu lämpökeräimen tuotanto neliötä kohti. Käytettävän aurinkokeräimen hyötysuhde on 89 %. Taulukon tulokset on saatu kertomalla auringon kuukausittainen säteilyarvo suuntauksen vaikutuksella ja keräimen hyötysuhteella. Taulukon avulla saadaan mahdollinen tuotantomäärä jokaiselle kuukaudelle. Taulukosta nähdään, että tuotanto on suurimmillaan heinäkuussa ja vastaavasti kohteen lämmönkulutus on pienimmillään silloin. Taulukosta 6 nähdään, että heinäkuun lämmönkulutus on 404 kWh. Aurinkokeräinjärjestelmään liitetään hybridivaraaja, joten lämmityksen häviöt kasvavat hieman. Varaajan tuomiksi häviöiksi arvioidaan 5 %, jolloin heinäkuun kulutukseksi saadaan seuraavan laskutoimituksen mukaan 424 kWh.

$$404 \text{ kWh} * 1,1 = 424 \text{ kWh}$$

Taulukko 9. Aurinkokeräimen tuotanto

Kuukausi	Auringon säteily kWh/m ²	Kallistuksen vaikutuskerroin	Lämpökeräimen tuotanto kWh/m ²
Tammikuu	6	1,75	10
Helmikuu	22	2,5	50
Maaliskuu	64	1,85	106
Huhtikuu	120	1,29	138
Toukokuu	166	1,01	149
Kesäkuu	169	0,9	135
Heinäkuu	181	0,93	150
Elokuu	127	1,05	118
Syyskuu	82	1,33	97
Lokakuu	26	1,65	38
Marraskuu	8	1,5	11
Joulukuu	4	0,5	2
Yhteensä	975	1,27	1102

Tarvittava paneelien määrä on laskettu niin, että heinäkuun lämmön kulutus on jaettu saman kuukauden keräimen neliötuotannolla.

$$\frac{424 kWh}{150 \frac{kWh}{m^2}} = 2,82 m^2$$

Aurinkolämpöpaneelien keräyspinta-ala on yleensä noin kaksi neliötä, joten kohteeseen tarvitaan kaksi paneelia. Aurinkojärjestelmän tuotto heinäkuussa muodostuu korkeammaksi, kuin mitä lämpöä käytetään normaalisti. Aurinkokeräinten hinnaksi muodostuu 2249 €, hintaan sisältyy kattokiinnikkeet, kiertoneste, kiertopumppu sekä ohjausyksikkö. (Aurinkoenergiavaraaja.2015) Taulukkoon 10 on laskettu lämpökeräinjärjestelmän energian tuotto kuukausittain.

Taulukko 10. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotanto kuukausittain

Kuukausi	Lämpökeräimen tuotanto kWh/m ²	Keräyspinta-ala m ²	Tuotanto kWh
Tammikuu	10	4	39
Helmikuu	50	4	199
Maaliskuu	106	4	424
Huhtikuu	138	4	551
Toukokuu	149	4	595
Kesäkuu	135	4	540
Heinäkuu	150	4	599
Elokuu	118	4	474
Syyskuu	97	4	388
Lokakuu	38	4	154
Marraskuu	11	4	43
Joulukuu	2	4	8
Yhteensä	1102	4	4409

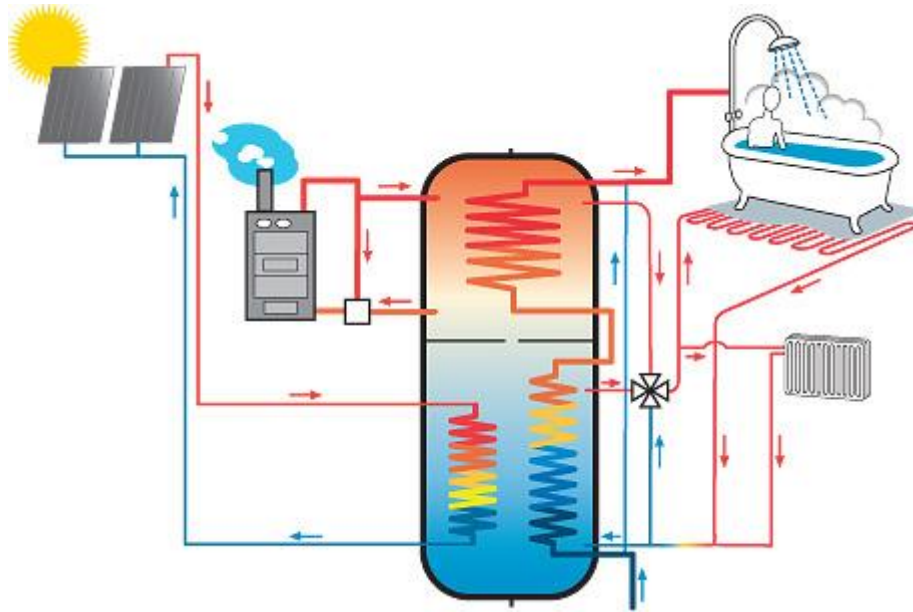
Aurinkolämmön vuotuinen rahallinen hyöty lasketaan siten, että sähkölämmityskuukausina energian hinta on 12 senttiä kilowattitunnilta ja muuna aikana pelletin kilowattituntihinta, joka on 5,6 senttiä.

Taulukko 11. Suunnitellun aurinkolämpöjärjestelmän laskennallinen tuotto

Kuukausi	Tuotanto kWh	Säästö (sähkö) €	Säästö (pelletti) €
Tammikuu	39	0,0	2,2
Helmikuu	199	0,0	11,2
Maaliskuu	424	0,0	23,7
Huhtikuu	551	0,0	30,8
Toukokuu	595	35,7	16,7
Kesäkuu	540	32,4	0,0
Heinäkuu	599	35,9	0,0
Elokuu	474	28,4	0,0
Syyskuu	388	23,3	0,0
Lokakuu	154	0,0	8,6
Marraskuu	43	0,0	2,4
Joulukuu	8	0,0	0,4
Yhteensä	4409	155,8	96,0

Vuosittainen säästö aurinkokeräinjärjestelmän avulla olisi 251,8 €.

Kohteessa ei ole erillistä vesivaraajaa. Mitoitettavassa rakennuksessa lämmintä käytettä kuluu laskennallisesti noin 186 litraa vuorokaudessa. Varaajan mitoituksessa on otettava huomioon, että käyttöveden lämpötilan tulee olla yli 60 °C, jotta legionellabakteerit eivät pääse syntymään verkostoon.(THL.2015). Lämpötilavaatimuksen johdosta varaajaa ei kannata ylimitoitaa, jottei huonoina tuotantopäivinä jouduta lämmittämään suurta vesimäärää sähköllä. Toisaalta liian pienen varaajan vesi kuumenee nopeasti ja huonontaa lämpökeräimen hyötysuhdetta. Mitoitettavan vesivaraajan tulee olla hybridivaraaja, jotta siihen voidaan liittää rinnalle olemassa oleva pellettikattila. Kuviossa 13 on esitetty hybridivaraajan toiminta ja kytkentäperiaate.



Kuvio 13. Hybridivaraajan kytkentä (Aurinkoenergiavaraaja.2015)

Aurinkoenergiaratkaisua pohdittaessa on myös otettava huomioon kotitalousvähennys, jota on mahdollista saada 45 % asennuskuluista, kuitenkin siten että omavastuuosuus on 100 € ja suurin mahdollinen korvausmäärä 2400 euroa. (Kotitalousvähennys.2016) Kohderakennuksessa asuu kaksi henkilöä, joten molemmat voivat hakea tätä vähennystä.

Taulukossa 12 on eritelty kustannukset aurinkokeräinratkaisuun. Kohteeseen valitaan 1000 litran hybridivaraaja. Asennuskustannuksen suuruudeksi on arvioitu 2000 €, jolloin kotitalousvähennyksen suuruudeksi muodostuu alla olevan laskutoimituksen mukaan 855 €.

$$(2000\text{€} - 100\text{€}) * 0,45 = 855\text{€}$$

Taulukko 12. Aurinkolämpöjärjestelmän kustannukset. (Aurinkoenergiavaraaja.2015)

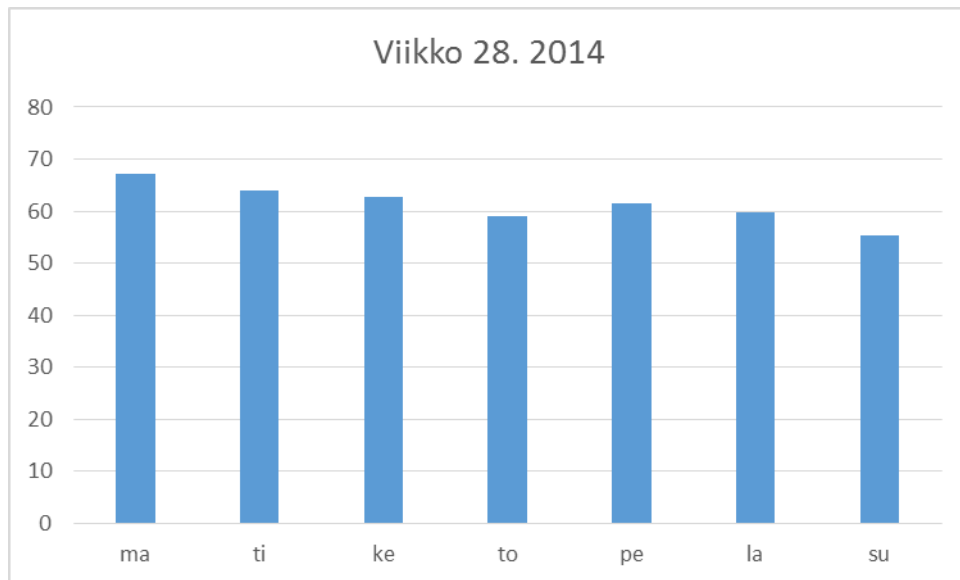
Tuote	Varaaja (1000l)
Aurinkokeräimet 2kpl	2241
Varaaja 1000l	2 579 €
Asennuskustannukset	2000
Kotitalousvähennys	-855
Yhteensä	5 965 €

Aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuajan laskennassa energian hinnan nousuksi on määritetty 5 %. Alla olevassa laskutoimituksessa on laskettu takaisinmaksuaika kyseiselle järjestelmälle. Laskutoimituksessa kustannukset on jaettu vuotuisella tuotolla, joka kasvaa 5 prosenttia joka vuosi. Takaisinmaksuajaksi muodostuu 12,7 vuotta.

$$\frac{5965\text{€}}{251,8\text{€} * 1,05^x} = X$$

7.2 Aurinkopaneeliratkaisu

Aurinkosähkön tuotanto mitoitetaan heinäkuun sähkönkulutuksen mukaan, koska silloin paneelien tuotanto on suurimmillaan. Paneelien rahallinen tuotto on myös sitä parempi, mitä enemmän siitä voidaan käyttää heti kohderakennuksessa. Sähkön hinta kotiin tuotuna on tällä hetkellä noin 12 senttiä kilowattitunnilta, ja verkkoon syötettävästä sähköstä saatava korvaus määräytyy sen hetkisen sähköverkon spot-hinnan mukaan. Korvattavaksi hinnaksi muodostuu keskimäärin 2 - 5 senttiä kilowattituntia kohden. (Ylijäämäsähkön myynti. 2016). Heinäkuun sähkönkulutus kohteessa on yhteensä 1889 kWh, ja sen jakautuminen vuorokausitasolla on kohtalaisen tasaista, kuten kuviosta 15 nähdään. Yö- ja päivävaihtelut kulutuksessa voidaan pyrkiä siirtämään päiväajalle ajastamalla sähkölaitteet toiminaan mahdollisimman paljon päivällä. Kuitenkaan kaikkea sähköä ei saada kulutettua päiväaika, joten aurinkopaneelien tuotanto mitoitetaan kattamaan 90 % heinäkuun kulutuksesta. Mitoitusarvoksi muodostuu 1700 kWh.



Kuvio 14. Kohderakennuksen sähkönkulutus viikolla 28

Yleisimpien aurinkopaneelien hyötysuhteet ovat tällä hetkellä noin 16 %, mikä tarkoittaa että 16 % auringon säteilytehosta voidaan muuttaa sähköksi. Aurinkopaneelit suunnataan etelään ja asennetaan 60 asteen kulmaan. Lähtöarvoina laskuissa on käytetty kohdealueen vuosittaista säteilyarvoa neliötä kohden. Säteilyarvo on kerrottu liitteen 1 taulukoista 8 ja 9 löytyvillä kallistuskulman ja suuntauskertoimilla.

$$975 \frac{kWh}{m^2} * 1 * 1,20 = \frac{1170kWh}{a}$$

Seuraavassa vaiheessa lasketaan paneelien tuottama huipputeho. Laskentaan vaikuttaa aurinkopaneelien määrä ja huipputehokerroin. Huipputehokertoimella tarkoitetaan sitä kuinka paljon kenno pystyy tuottamaan sähköä 1 kW:n säteilyreferenssilanteessa. Käytännössä tämä tarkoittaa hyötysuhdetta. Kohteeseen on mahdollista sijoittaa 35 m² aurinkopaneeleita ja paneelien hyötysuhde on 16 %.

$$35m^2 * 0,16 \frac{kWh}{m^2} = 5,6kW$$

Paneelien huipputehoksi muodostuu 5,6 kW. Seuraavassa vaiheessa lasketaan vuotuinen sähköntuotanto kyseisellä paneelimäärällä. Laskutoimituksessa kerrotaan

vuotuinen paneelille tuleva energiamäärä paneeliston huipputeholla sekä käyttötilanteentoimivuuskertoimella, joka löytyy liitteen 1 taulukosta 11. Kohteen aurinkopaneelit asennetaan siten, että ne pääsevät tuulettumaan, joten toimivuuskertoimeksi muodostuu 0,75. Laskutoimitus jaetaan vielä tuotannon referenssiluvulla, joka on mainittu jo edellisessä kohdassa.

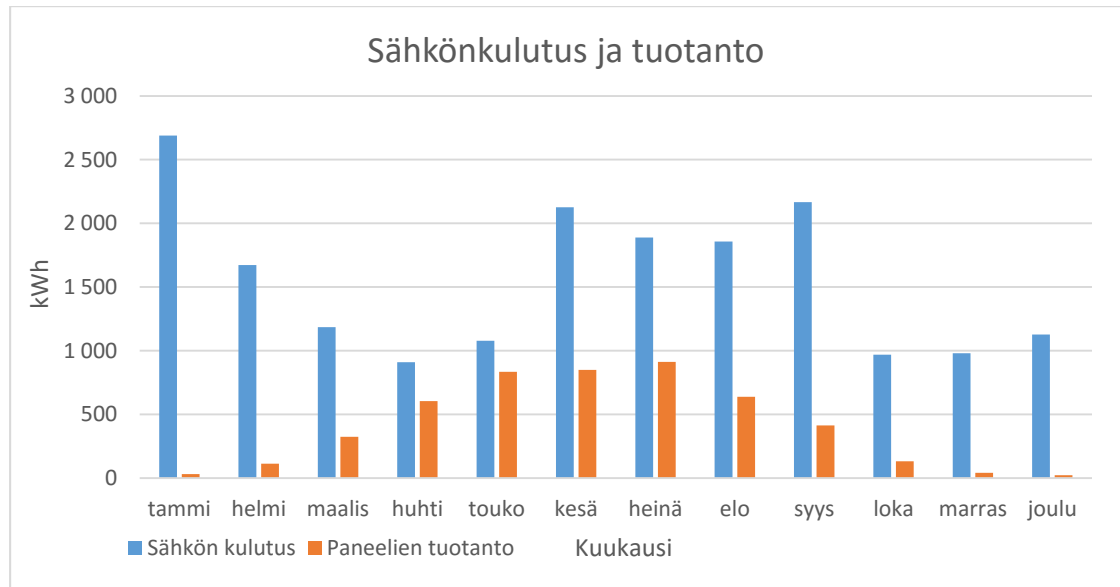
$$\frac{1170 \frac{kWh}{m^2} * 5,6kW * 0,75}{1 \frac{kWh}{m^2}} = 4914kWh/a$$

Vuotuiseksi tuotantomääräksi muodostuu 4914 kWh. Tuotannon jakautuminen eri kuukausille saadaan vertaamalla auringon säteilyn vaihtelua kuukausittain. Taulukossa 13 on laskettu kuukausittainen sähköntuotanto valitulla paneelistolla.

Taulukko 13. Mitoitetun aurinkosähköjärjestelmän laskennallinen tuotanto

Kuukausi	Auringon säteily kWh/m ²	Osuus vuotuisesta säteilystä	Paneelien tuotanto kWh
Tammikuu	6	1 %	31
Helmikuu	22	2 %	113
Maaliskuu	64	7 %	324
Huhtikuu	120	12 %	604
Toukokuu	166	17 %	834
Kesäkuu	169	17 %	850
Heinäkuu	181	19 %	912
Elokuu	127	13 %	638
Syyskuu	82	8 %	413
Lokakuu	26	3 %	132
Marraskuu	8	1 %	41
Joulukuu	4	0 %	22
Yhteensä	975	100 %	4914

Kuviossa 15 on kuvattu sähkön tuotannon kulutuksen jakautuminen eri kuukausina. Kuviosta voidaan huomata, että kulutus on pääasiassa reilusti suurempaa kuin tuotanto. Poikkeuksen tekee ainoastaan huhti- ja toukokuu. Tämän vuoksi voidaan päätellä että, kaikki paneelien tuottama sähköenergia saadaan käytettyä itse eikä sitä tarvitse myydä verkkoon.



Kuvio 15. Sähkönkulutuksen ja laskennallisen tuotannon jakautuminen kohderakenuksessa

Taulukossa 14 on laskettu aurinkopaneeleista saatava rahallinen hyöty. Hyödyn laskennassa on käytetty itse käytettävän sähkön hintana 12 snt/kWh ja verkkoon myytävän energian hintana 3snt/kWh. Verkkoon myytävää sähköä syntyy huhti- ja toukokuussa 20 - prosenttia tuotetusta sähköstä, koska silloin kaikkea tuotettavaa sähköä ei pystytä käyttämään.

Taulukko 14. Mitoitetun aurinkosähköjärjestelmän laskennallinen tuotto

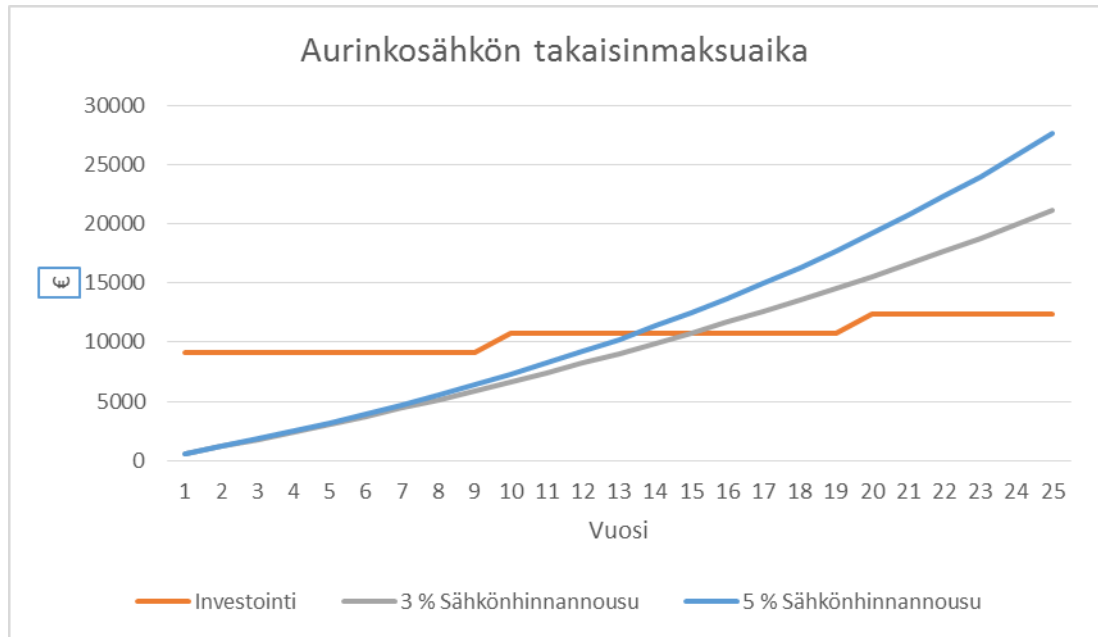
Kuukausi	Paneelien tuotanto kWh	Omakäyttöosuus	Verkkoon myytävä sähkö €	Itsekäytettävä sähkö €
Tammikuu	31	100 %	0	4
Helmikuu	113	100 %	0	14
Maaliskuu	324	100 %	0	39
Huhtikuu	604	80 %	4	58
Toukokuu	834	80 %	5	80
Kesäkuu	850	100 %	0	102
Heinäkuu	912	100 %	0	109
Elokuu	638	100 %	0	77
Syyskuu	413	100 %	0	50
Lokakuu	132	100 %	0	16
Marraskuu	41	100 %	0	5
Joulukuu	22	100 %	0	3
Yhteensä	4914	97 %	9	570

Aurinkopaneelit ovat kooltaan 1,65 m², joten tarvittava paneelien määrä on 21 kpl, jolloin käytettävä pinta-ala on 34,7 neliötä. Tämän kokoisen järjestelmän arvioiduksi hinnaksi asennuksineen muodostuu 10500 €. (Aurinkolaskuri. 2016). Taulukossa 15 on eritelty aurinkosähköjärjestelmän tarvikekustannukset, mikäli ne ostetaan erikseen liikkeestä. Taulukosta voimme huomata että järjestelmän hankintakustannukset tekevät noin 8000 € euroa, joten Arevasolar-yhtiön hinnasta noin 2000 euroa on asennuskustannusta.

Taulukko 15. Aurinkosähköjärjestelmän kustannukset kohderakennukseen (Aurinkoenegiavaraaja.2015)

Tuote	a hinta	Määrä	Yhteensä
Paneeli	290 €	21	6 090 €
3-vaihe invertteri	1 590 €	1	1 590 €
Kaapeli-liitin- ja kytkinsarja	340 €	1	340 €
Yhteensä	-	-	8 020 €

Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksussa on otettava huomioon kotiin siirretyn sähkönhinnan nousu. Takaisinmaksuun otetaan myös huomioon mahdolliset huoltokustannukset. Huoltokustannuksiin lasketaan invertterin uusiminen 10 vuoden välein. Investoinnin määräksi muodostuu 10 000 euroa, josta asennusta on 2 000 euroa. Kotitalousvähennyksen osuus on 855 euroa, kuten luvussa 8.1 on laskettu. Takaisinmaksun laskemiseen on käytetty sähkönhinnan nousuun 3- ja 5-prosentin hinnannousua. Kuviossa 16 on kuvattu takaisinmaksun kehittymistä järjestelmän tehokkaalle käyttöiälle, joka on 25 vuotta. Takaisinmaksuajoiksi järjestelmälle muodostuu 5 %:in hinnannousulla 13,5 vuotta, ja 3 %:in hinnannousulla 15 vuotta.



Kuvio 16. Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaika.

8 Tulosten tarkastelu

Mitoitettujen aurinkoenergiaratkaisujen takaisinmaksuajat ovat joko 13 tai 15 vuotta. Takaisinmaksuajat ovat inhimillisiä ja kannattavia, kun järjestelmien tehokas käyttöikä on noin 25 vuotta. Taloudellisen hyödyn todellista määrää on mahdotonta tietää tarkalleen, koska sähkön, sähkönsiirron ja lämmitysenergian hinnan kehitys voi muuttua todella paljon tai pysyä samana pitkiäkin aikoja. Öljyn hinnan lasku vaikuttaa varmasti hidastavasti lämmitysjärjestelmien muutosnopeuteen monissa kotitalouksissa. Toisaalta sähkönsiirtohinnot ovat nousseet monilla alueilla kymmeniä prosentteja. Varsinkin aurinkosähköjärjestelmän investointi vaikuttaa mielestäni kannattavalta, koska sähkönsiirtohinnan kasvu on todennäköistä lähivuosina. Aurinkolämmön osalta kannattavuuden todellinen arviointi on hankalampaa, koska kulutus huiput kohdistuvat kylmille ja sateisille päiville, jolloin myös lämmön tuotanto on pientä. Lämpimän käyttöveden ja lämmitykseen kuluvan energian todellisen määrän arviointi on haastavaa, ja se voi olla huomattavastikin suurempi kuin mitä arvioissa on käytetty.

Aurinkoenergiajärjestelmät kehittyvät kokoajan tehokkaammiksi ja valmistuskustannukset putoavat. Aurinkoenergian kannalta tämä tulee tarkoittamaan sitä, että investointikustannukset tuotettua energiamäärää kohden laskee, ja takaisinmaksuajat aurinkojärjestelmillä lyhenevät. Opinnäytetyöni perusteella aurinkoenergiajärjestelmien investointi omakotitalouksiin, joissa käyttöveden ja rakennuksen lämmitys hoidetaan sähköllä kesäisin tai koko vuoden on kannattavaa. Sähkölämmitteisten rakennusten kannattaa harkita aurinkoenergiaratkaisua, mikäli lämmitysmuotoa ollaan vaihtamassa.

Aurinkoenergian tulevaisuudennäkymät ovat valoisat, varsinkin jos sähkön kuluttajahinnat nousevat. Kotitalouksien aurinkosähkön yleistyessä sähkönsiirtoyhtiöiden siirtämä energia koti-talouksille vähenee. Yhtiöiden kulut tuskin kuitenkaan putoavat samassa suhteessa, mikä luo paineita nostaa siirtohintaa tulevaisuudessa. Tällä periaatteella ajateltuna aurinkosähkön tuottaminen omaan käyttöön tulee sitä kannattavamaksi, mitä enemmän se yleistyy.

9 Pohdintaa

Opinnäytetyöni tarkoituksena oli tarkastella aurinkoenergia järjestelmien kannattavuutta omakotitaloissa. Tavoite saavutettiin halutulla osa-alueella, mutta tuloksiani ei voida soveltaa yleisesti kaikkiin omakotitaloihin. Työssäni onnistuttiin esittelemään erilaisia vaihtoehtoja tehokkaaseen aurinkoenergian hyödyntämiseen ja mitoituksessa työni kohderakennukseen. Mitoitusta hankaloittavia tekijöitä olivat lämmitykseen kuluvan energian arviointi ja aurinkojärjestelmän kokonaiskustannusten arviointi. Tulokset vaikuttava mielestäni järkeviltä ja oikeilta, mutta koska osa kulutusluke-
kemista perustuu arvioihin ei laskennasta saadut tulokset ole tarkkoja. Työssäni onnistuin kertomaan monipuolisesti aurinkoenergiaa ja sen käyttöön liittyviä järjestelmiä. Parannettavaa työssäni olisi mitoituksen tarkkuudessa ja erilaisten järjestelmien vertailussa. Jatkokehittämistä työni jälkeen olisi kohteen nykyisen järjestelmän käytettävyydessä ja toimivuudessa. Jatkokehittämisideana voisi olla kannattavuustarkastelu järjestelmään, jossa aurinkosähköä varastoitaisiin akkuihin.

Lähteet

Akut ja laturit. Nd. Kirjoitus Suntekno Oy:n internetsivuilla. Viitattu 24.7.2015.
<http://www.suntekno.fi/akutjalaturit>

Aurinkoenergia. N.d. Pdf-tiedosto Suntekno Oy:n internetsivuilla. Viitattu 24.7.2015.
<http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>

Aurinkoenergiavaraaja. 2015. Järjestelmien hintoja Taloon.com Oy:n internetsivuilta. Viitattu 5.2.2016. http://www.taloon.com/aurinkoenergiavaraaja-akva-solar-750-2-x-lk35-ak-2-yhdetta-3-bar/AK-SOL750-3B/dp?nosto=nosto_tuotelistaus_ryhman_suosituimmat_banner&openGroup=6858

Aurinkolaskuri. 2016. Arevasolar yhtiön internetsivuilta. Viitattu 24.2.2016.
<http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkolaskuri>

Energiankäytön tehostaminen. 2015. Käyttöveden laskentakaavat Motiva Oy:n internetsivuilta. Viitattu 25.5.2015. käyttövedenlämmitys.
http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energian kayton_tehostaminen/kiinteistojen_energiahallinta/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi

Energiatodistuksen laadintaesimerkki. 2013. Uudispientalon energialukulaadintaesimerkki energiatodistusoppaan 2013 liitteestä.

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas, Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen yhdistys.

Finsolar. 2015. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot. Viitattu 17.2.2016.
http://www.finsolar.net/?page_id=1398&lang=fi

Heimonen, I. 2011. Aurinko-opas 2012, Pdf-tiedosto. Aurinkolämmön- ja sähkön energiantuotannon laskennan opas. Ympäristöministeriön internetsivuilla. Viitattu 12.3.2016. <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112.../30750>

Korpela, A. N.d. Pdf-tiedosto Tampereen teknillisen yliopiston sivuilla. Viitattu 3.1.2016. http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/2012/luento_2.pdf

Kotitalousvähennys. 2016. Ohjeet kotitalousvähennyksen laskemiseen Verottajan internetsivuilta. Viitattu 17.2.2016. <http://www.veronmaksajat.fi/asunto-ja-auto/kotitalousvahennys/>

Lyijyakkujen ABC. 2012. Pdf-tiedosto REPS Oy:n internetsivuilla. Viitattu 15.2.2016.
<http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-lyijyakkujen-ABC-22-4-2012.pdf>

Putkikeräinjärjestelmä. 2013. Tietoa putkikeräimistä Ricaheating Oy:n Internetsivuilta. Viitattu 15.8.2015.
<http://www.ricaheating.fi/tuotteet/aurinkolammitys/rica-solar-putkikerainjarjestelma>

Säteilymäärät. N.d. Kirjoitus Suntekno Oy:n internetsivuilla. Viitattu 24.7.2015
<http://www.suntekno.fi/sateilymaarat>

THL. 2015. Käyttövesijärjestelmän vaatimuksia Terveiden ja hyvintvointilaitoksen internetsivuilta. Viitattu 15.2.2016.

<https://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa/ymparistotekijat-ja-torjuntamahdollisuudet>

Tietoa aurinkokeräimistä. N.d. Kirjoitus Huipputuotteet Oy:n internetsivuilla.

<http://www.huipputuotteet.fi/tuotteet/aurinkokeraimet-2/tietoa-aurinkokeraimista/>
Vuositilastot. 2016. Säteilytilastoja Ilmatieteenlaitoksen internetsivuilta. Viitattu 15.8.2016. <http://ilmatieteenlaitos.fi/vuositolastot>

Ylijäämänsähkön myynti. 2015. Kirjoitus Motiva Oy:n internetsivuilta. Viitattu 23.2.2016.

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

Liitteet

Liite 1.

Laskuissa käytetyt taulukot Ismo Heimosen mukaan (Aurinko-opas, 2011).

Taulukko 8. F_1 on ilmansuunnan mukainen kerroin (-).

Suuntaus	F_1
etelä/kaakko/lounas	1
itä/länsi	0,8
pohjoinen/koillinen/luode	0,6

Taulukko 9. F_2 on kallistuksen mukainen kerroin (-)

Kallistus- Kulma	Kerroin
$<30^\circ$	1
$30^\circ \dots 70^\circ$	1,2
$>70^\circ$	1

Aurinkosähkökennon tyyppi	Huipputehokerroin K_{\max} kW/m^2
piipohjaiset yksikiteiset kennot *	0,12...0,18
piipohjaiset monikiteiset kennot *	0,10...0,16
ohutkalvo kiteetön pii kennot	0,04...0,08
muut ohutkalvotekniikalla toteutetut kennot	0,035
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CuInGaSe ₂ kenno	0,105
Ohutkalvotekniikalla toteutettu CdTe kenno	0,095
* pakkaustiheys $>80\%$	

Taulukko 11. Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}[-]$

Aurinkokennon asemustapa	Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{\text{käyttö}}[-]$
Tuulettamaton moduli	0,70
Hieman tuuletettu moduli	0,75
Voimakkaasti tuulettuva tai koneellisesti tuuletettu moduli	0,80

Liite 2.

Laskuissa käytetyt kaavat Ismo Heimosen mukaan (Aurinko-opas, 2011).

Laskenta:

Jyväskylän säteilytiedot vaakapinnalle saadaan taulukosta 1. Vaakatasolle osuvan auringonsäteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa $E_{sol,hor} = 890 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$. Ilmansuunnan mukainen kerroin etelään suunnatulle pinnalle $F_1 = 1,0$ ja kallistuksen mukainen kerroin pystypinnalle $F_2 = 1,0$. Tällöin $E_{sol} = E_{sol,hor} \cdot F_{asento} = 890 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$.

Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}$ hieman tuulettuvalle rakenteelle on 0,75.

Maksimisähköteho referenssisäteilytilanteessa $P_{max} = K_{max} A = 0,15 \text{ kW/m}^2 \cdot 20 \text{ m}^2 = 3 \text{ kW}$.

Tulokset:

Vuotuiseksi sähköntuotoksi saadaan

$$E_{s,pv,out} = \frac{E_{sol} \cdot P_{max} \cdot F_{käyttö}}{I_{ref}} = 890 \text{ kWh/m}^2, \text{a} \cdot 3 \text{ kW} \cdot 0,75 / 1 \text{ kW/m}^2 = 2002,5 \text{ kWh/a}.$$

Laskennallinen kuukausijaottelu tehdään jakamalla vuositason tuotto kuukausitasolle vaakatasolle tulevien kuukausittaisten säteilysummien suhteessa.

Kuukausi	vaakatazon säteilysumma	suhteellinen osuus vuoden	Tuotto kWh/kk
----------	----------------------------	------------------------------	---------------

	kWh/kk	säteilysummasta	
Tammikuu	5	0,006	11,3
Helmikuu	20	0,023	45,1
Maaliskuu	52	0,059	117,3
Huhtikuu	103	0,116	232,3
Toukokuu	171	0,193	385,6
Kesäkuu	159	0,179	358,6
Heinäkuu	158	0,178	356,3
Elokuu	114	0,128	257,1
Syyskuu	71	0,080	160,1
Lokakuu	25	0,028	56,4
Marraskuu	7	0,008	15,8
Joulukuu	3	0,003	6,8
Summa	888*	1,000	2002,5

*Huom. pyöristysten vuoksi kuukausiarvojen summa $888 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ eroaa hieman taulukon 1 vuosisummasta $890 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$.